creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

치의과학박사 학위논문

영상치의학 방사선검사의 방사선량과 영상품질에 대한 연구

2022년 8월

서 울 대 학 교 대 학 원

치의과학과 영상치의학 전공

송 창 호

영상치의학 방사선검사의 방사선량과 영상 품질에 대한 연구

지도교수 이 삼 선

이 논문을 치의과학박사학위 논문으로 제출함

2022년 5 월

서울대학교대학원

치의과학과 영상치의학 전공 송 창 호의 치의과학박사학위 논문을 인준함

2022 년 7 월

위 원 장 _____ 허민석 (인)

부위원장 _____ 이삼선 (인)

위 원 _____ 허경회 (인)

위 원 _____ 한동헌 (인)

위 원 _____ 염한결 (인)

국문초록

영상치의학 방사선검사의 방사선량과 영상품질에 대한 연구

송 창 호

서울대학교대학원 치의과학과 영상치의학 전공

(지도교수 이삼선)

1. 목적

본 연구의 목적은 영상치의학 방사선검사의 촬영 건수를 평가하고, 임상적으로 사용하는 방사선량과 영상품질의 관계를 평가하고자 한다.

2. 방법

촬영건수의 평가는 치과의사를 상대로 촬영 건수와 건강보험심사평가원 청구 건수를 설문조사하여 차이를 비교하였다. 방사선량과 영상품질의 평가는 파노라마방사선검사는 6개의 장비를 이용하였으며 CBCT는 12개의 장비를 이용하였다. 방사선량은 면적선량(Dose Area Product meter, DAP meter)계를 이용하여 측정하였으며, 파노라마방사선영상의 영상품질 평가는 QUART dent 팬텀을 이용하여 공간해상도와 대조도해상도를 측정하였고 CBCT는 Dental Volume Tomography (DVT) 팬텀을 이용하여 Polymethyl-methacrylate (PMMA) voxel gray value 평균, 잡음, 균질성, 대조도, 대조도 대 잡음비, 변조전달함수(modulation transfer function, MTF) 10%, MTF 50% 및 나이퀴스트 주파수(Nyquist frequency, NF)를 측정하였다. CBCT장비 간의 후처리방식, 장비의 사용 연한, 관리 정도 등이 영상품질에 대한 영향 요소를 배제하기 위하여 단일 장비 내에서 조사야(field of view, FOV), 방사선량, 복셀 크기와 영상품질간의 상관관계를 조사하였다.

3. 결과

치과에서 사용되는 영상치의학 방사선검사의 촬영 건수는 치근단방사선촬영, 파노라마방사선촬영, CBCT, 두부계측방사선촬영 모두에서 건강보험심사평가원 청구 건수에 비해 통계학적으로 유의하게 많았다. CBCT검사의 경우 실제 촬영 건수 평균 0.76, 표준편차 1.40였으며 청구 건수 평균 0.31, 표준편차 0.85였다. 방사선량과 영상품질 평가에서 파노라마방사선검사의 방사선량은 다양하였으나 방사선량에 따른 해상도는 유의한 차이가 관찰되지 않았다. CBCT의 방사선량도 다양하였고 방사선량과 영상품질간의 관계는 잡음과 MTF 10%에서 유의하게 상관관계가 있었다. 그러나 잡음의 경우는 방사선량 증가에 따라 양의 상관관계를 보였고 MTF 10%는 음의 상관관계를 보였다. 단일 CBCT 장비에서는 방사선량의 증가에 따라 PMMA 잡음값이 유의한 음(-)의 상관관계를 보였으며, 복셀 크기와 조사야에 비해 영상품질에 더 큰 영향력을 보였다.

4. 결론

임상환경에서 실제 촬영 건수와 보험 청구 건수에 유의한 차이가 있음을 확인하였으며, 다양한 파노라마방사선영상장비 및 CBCT 장비에서 방사선 검사 시 방사선량의 증가에 따라 영상품질이 다양하였으며 양과 음의 관계도 다양하였다. 따라서 촬영 건수에 대한 정확한 평가가 필요하며, 방사선 검사 시 방사선량, 영상품질에 대한 각각의 평가가 필요하다.

주요어: Dose, Cone-Beam Computed Tomography, Panoramic, Radiography

학번: 2015-30637

목 차

I. 서 론 1

II. 연구재료 및 방법 6

1. 영상치의학 방사선검사의 촬영 건수

2. 파노라마방사선장비와 CBCT 방사선량 측정

3. 파노라마방사선장비와 CBCT 영상품질 평가

4. 단일기종 CBCT 의 조사야, 복셀 크기, 방사선량이 영상품질에 미치는 영향평가

III. 연구결과 20

IV. 고 찰 40

V. 결 론 43

VI. 참고문헌 44

Abstract (English) 48

I. 서 론

1.1 연구의 개요

치과는 치아 및 주변 골 등의 경조직 진단이 필수적이므로 방사선검사를 통한 진단이 중요하여, 해마다 진단용 방사선 검사의 빈도가 증가하고 있다 [1]. 진단용 방사선장비의 사용이 증가함에 따라 선량을 낮추기 위해 표준 CT에 비해 조사범위를 작게 만든 저선량 CT의 개발부터, 저선량으로 획득된 영상의 품질을 증가시키는 방법에 대한 연구까지 현재 다양한 기술의 진보가 이루어지고 있다 [2-5].

환자들이 방사선검사를 통한 정확한 진단으로 얻는 이득은 있지만, 이러한 과정에서 방사선 위해를 동시에 갖는다 [6-9]. UN방사선영향과학위원회 (United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR)는 전 세계의 국가로부터 의료피폭, 직업상 피폭, 일반인 피폭 등 다양한 피폭상황에 대한 각국 국민의 피폭현황 자료를 수집하여 주기적으로 보고하고 있다 [10]. 2008년 UNSCLEAR에서 1997년부터 2007년까지 의료방사선에 의한 방사선 피폭량을 조사한 보고에 따르면, 의료방사선이 일반인의 연간 피폭 선량에 가장 크게 기여하는 것은 인공방사선원이며 해마다 의료방사선에 의한 피폭이 급격히 증가되고 있는 것으로 나타났다. 1997-2007년 조사결과에서 1991-1996년 조사에 비해 핵의학을 제외한 진단용 방사선 검사 횟수는 대략 50% 증가하였으며, 총 방사선량도 대략 70% 증가하였다 [11].

국내에서는 식품의약품안전처 및 질병관리청에 의해 국내 진단용 방사선 이용에 따른 국민 방사선량 평가 연구가 수행되었다. 식품의약품안전처는 2007년부터 2011년까지 5년간 [12], 질병관리청은 2012년부터 2015년까지 4년간 의료기관에서 진단용 방사선 검사 건수 및 검사종류 별 방사선 피폭선량 등의 데이터를 이용하여[13], 국내 진단용 방사선 검사의 사용량 분석 및 국민의 유효선량을 통한 방사선량 평가 연구를 수행하였다. 상기 연구 결과에 따르면, 연간 진단용 방사선 사용량은 2007년 1억 6,000만 건에서 2015년 2억 6,000만 건으로 9년간 약 64% 증가한 것으로 나타났다. 이 중 사용량 증가율이 가장 큰 전산화단층촬영(CT)의 경우, 매년 사용량이 약 11% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 2017년 연구에 따르면 검사종류 별 의료방사선 사용량 및 사용 비중은 앞선 2012-2015년 조사 자료와 비교하여 의료방사선 총사용량이 약 14% 증가

함을 알 수 있다. 각 영역별 촬영 비중을 살펴보면 2012-2015년 조사 자료 기준 일반 촬영이 78%(약 2.1억 건)로 가장 높은 사용 비중을 보였으며, 치과 촬영이 11%(약 2.9천만 건)으로 두 번째로 많은 촬영 빈도를 보였다. 또한 의료기관 수에 대해서도 전체 의료기관수의 67,847개 중 치과의료기관 수는 17,901개로 약 26.4%를 차지하고 있으므로 치과에서의 의료용 방사선 노출은 적지 않은 부분을 차지하는 것으로 평가할 수 있다 [13].

1990년대 cone-beam computed tomography (CBCT)가 처음 개발된 이후 1990년대 중반 치과 분야에 도입되었다. CBCT의 활용은 해상도 개선, 정확한 거리 측정, 3차원 평가, 적은 유효선량, 컴퓨터 모의 수술에 대한 유용성 등 많은 장점이 있다 [14]. 이러한 CBCT의 장점은 과잉 및 매복 치아의 발치, 제3대구치와 하악관 사이의 근접성 평가, 낭종, 종양, 부비동염 및 턱관절의 검사, 양악 검사 및 측정 및 임플란트 식립을 포함한 치과 수술에 적용되어 치과분야에서의 활용은 지속적으로 확장되고 있다 [15-17]. 이는 2019년 국내 연구보고서에서 제시한 치과 분야에서의 CBCT의 사용이 2016년 399,327회, 2017년 490,035회, 2018년 615,131회 및 2019년 778,766회로 4년간 약 1.95배 정도 증가하고 있다는 결과로도 확인할 수 있다 (그림 1)[18]. 이와 같이 CBCT의 사용이 증가하는 것은 임상적인 효율성과 전문성이 증가할 수 있다는 장점이 있지만, 앞서 언급한 환자의 유효선량증가도 동시에 발생한다.

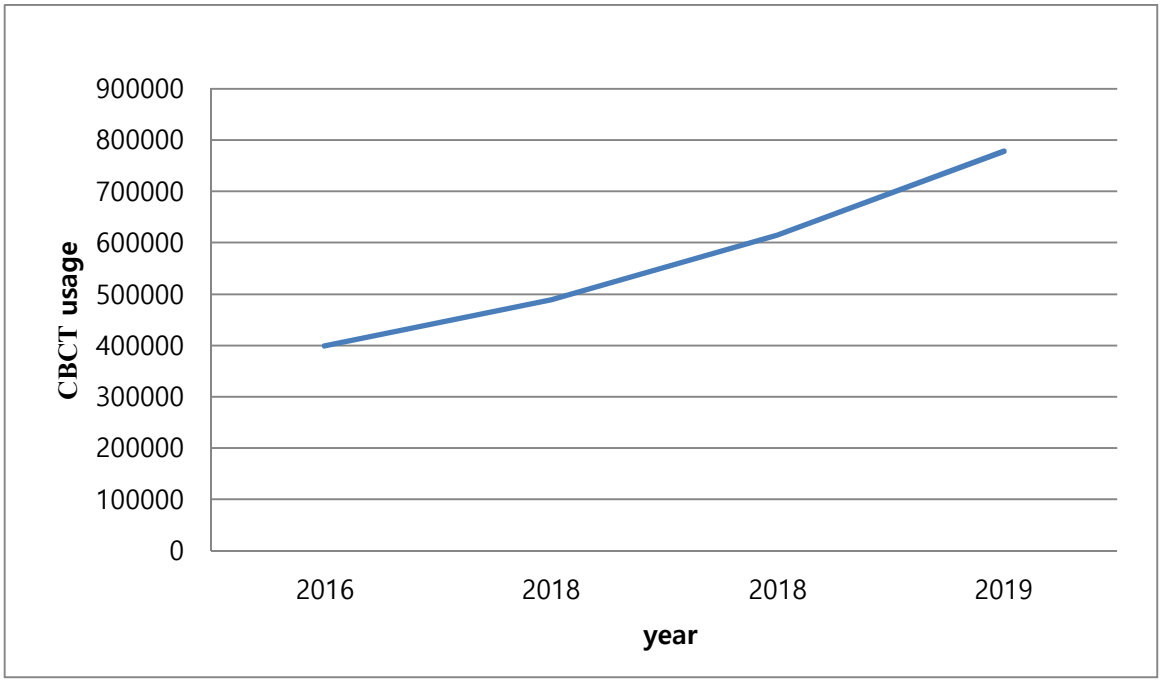

Figure 1. Number of radiation exposures in dental cone-beam computed tomography (CBCT) from 2016 to 2019 [18].

국제적으로도 방사선 안전관리를 강화하고 있으며, 미국의 경우 미국방사선방호위원회(United States Radiation Protection Committee)가 의료용 방사선 영역과 장비의 종류별 사용량, 집단유효선량, 1인당 연간 유효선량에 대한 자료를 2019년 NCRP (National Council on Radiation Protection & Measurements) 184 보고서로 발표했다 [19]. 또한, 영국에서는 건강보호청(Health Protection Agency, HPA)에서 결과를 기반으로 5년마다 환자에 대한 방사선 피폭선량 분포 맵을 생성하여 국가 환자선량 데이터베이스를 확보하고 국가 환자선량 권장사항(HPA 201)을 제시한다 [20]. 한국에서는 질병관리청에서 연간 사용량, 집단유효선량, 1인당 유효선량에 대한 자료를 제시하고 있다 [21].

환자에 대한 방사선 피폭선량은 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮아야 한다(As Low As Reasonably Achievable, ALARA) "는 방호의 기본원칙이 있다 [23, 24]. "합리적으로 달성할 수 있는 한" 낮아야 한다는 말에는 여러 의미가 있지만 임상환경에서는 "진단 가능한 영상 품질을 제공할 수 있는 한" 가능한 낮아야 한다로 생각 할 수도 있다 [22]. 일반적으로 영상 획득 시 X선 조사량을 증가시키면 영상의 질이 향상된다고 알려져 있

다 [25, 26]. 하지만 최근 영상획득 시스템의 지속적인 하드웨어적, 소프트웨어적 기술 발전으로 방사선 흡수, 변환 효율을 극대화하여 영상 품질이 더욱 개선되고 있으므로 기존 장비에서 획득한 영상과 비교하여 동등한 정도의 영상품질을 보이는 영상을 획득하기 위하여 필요한 X선 조사량은 과거에 비하여 감소되고 있다 [27, 28]. 이러한 기술의 발전은 영상시스템의 고유한 물리적 특성을 반영한 다양한 영상처리 방법으로 각 영상시스템에서 최적의 영상을 구현하기 위해 적용되고 있다. 뿐만 아니라 방사선량에 따른 영상의 품질 또한 의료방사선영상시스템에 따라 그 특성이 서로 다르게 나타나므로 조사 선량과 영상품질의 관계를 측정하고 진단영상에 필요한 영상품질과 적절한 방사선 노출에 대한 평가가 이루어져야 한다. 따라서, 진단 가능한 수준의 적절한 방사선량 사용이라는 점에서 방사선 노출과 영상품질평가는 동시에 연구되어야 할 것이다.

임상에서는 의료방사선영상시스템을 통해 획득한 진단영상의 품질을 개선하고 관리하기 위하여 국제적으로 미국 American College of Radiology (ACR) CT Accreditation Program 및 ACR Mammography Quality Standard Act 프로그램들을 활용하고 있다 [29]. 한국에서는 의과 분야 방사선영상의 품질 관리를 위하여 한국의료영상품질관리원 (Korean Institute for Accreditation of Medical Imaging, KIAMI)을 통해 연간 서류검사와 3년마다 실제 정밀검사를 실시하고 있다. 하지만, 이와 같은 의료영상 품질관리체계에서도 치과에서 사용되는 의료방사선영상시스템의 영상 품질 관리 프로그램은 없기에, 치과용 방사선 영상의 품질 수준을 파악하고 관리하는 것이 어려우며, 이에 대한 적절한 평가를 수행하는 것은 선량의 관리 측면에서 중요한 문제이다 [30, 31]. 따라서 본 연구에서는 우리나라 영상치의학 검사에서의 방사선 촬영 건수를 더 정확히 알아보고자 하며 임상에서 방사선검사시 방사선량과 영상품질의 관계를 알아보고자 한다.

2. 연구의 목적

이 연구에서는 영상치의학 방사선검사의 촬영 건수를 평가하고, 임상적으로 사용하는 방사선량과 영상품질과의 관계를 평가하고자 하며, 세부적인 연구 목표는 다음과 같다.

첫째, 치과에서 각 촬영 유형에 따른 실제 방사선 촬영 건수와 건강보험심사평가원에 보고되는 청구 건수를 설문조사 하여 차이를 비교한다.

둘째, 치과에서 사용하는 방사선장비의 방사선량과 영상품질을 측정하고 관계를 분석한다.

셋째, CBCT 영상품질에 영향을 미치는 다양한 요소(장비의 사용연한, 후처리 방식 등)를 배제하기 위하여, 단일 장비로 방사선량, 복셀 크기, 조사야와 영상품질과의 관계를 분석한다.

II. 연구재료 및 방법

1. 영상치의학 방사선검사의 촬영 건수

1.1. 온라인 설문조사

표본 크기에 대한 검증을 먼저 시행하였다. 이를 위해 광주지역 102곳의 치과 병의원을 대상으로 예비조사를 실시하였고, 이를 토대로 한 유효 표본의 크기는 신뢰도 95%, 표준편차 0.5 하에서 t-test 수행 시 전국의 약 18,589개의 치과 병·의원 중 915개로 계산되었다 [32].

전국의 치과 의료기관에서 근무하는 치과의사 1000여명의 임상 치과의사를 상대로 인터넷 설문조사를 시행하였으며, 온라인 설문조사 특성에 맞춰 표 1과 같이 설문지를 작성하였다. 실증분석을 위한 설문지는 자기기입식 질문지로 설문 작성자가 자발적 참여를 통해 스스로 설문지에 응답하였고, 인터넷상의 설문 조사 기간은 2019년 9월 17일 ~ 2019년 10월 16일까지로 30일 동안 실시하였다.

Table 1. A survey questionnaire form to evaluate the exposure dose of patient

'환자의 피폭선량 평가를 위한 치과 방사선 촬영 빈도'에 관한 설문 조사

안녕하십니까? 본 설문지는 '환자의 피폭선량 평가를 위한 치과 방사선 촬영 빈도'를 알아보기 위한 목적으로 작성되었습니다. 귀하께서 작성해 주신 자료는 모두 익명 처리되고 연구 목적 이외에 어떠한 다른 용도로도 사용되지 않을 것을 약속드립니다. 본 설문은 총 11문항으로 예상 소요시간은 15분 내외입니다. 귀한 시간을 내어 설문에 응해 주셔서 진심으로 감사드립니다. 연구책임자: 김광표/이삼선, 연구원: 송창호

다음 각 문항에 대하여 귀하에게 해당하는 정도를 표기하여 주십시오. (필수항목)*

<개인 정보>

1. 본인의 개원 여부는 어떻게 되십니까?*

① 개원의

② 비개원의(봉직의, 페이닥터, 공중보건의, 휴직 등)

2. 본인의 근무 지역은 어떻게 되십니까?*

① 서울

② 인천, 경기

③ 강원도

④ 충청북도

⑤ 대전, 충청남도

⑥ 대구, 경상북도

⑦ 부산, 울산, 경상남도

⑧ 전라북도

⑨ 광주, 전라남도

⑩ 제주, 해외

3. 본인의 근무의료기관의 종별은 어떻게 되십니까?*

① 치과의원

② 치과병원

③ 병원 내 치과

④ 종합병원 치과

⑤ 의료원 치과

<검사 및 청구 건수 정보>

4. 금일기준 전날 치근단방사선검사(재촬영포함)를 몇 건 하셨습니까?*

5. 금일기준 전날 치근단방사선검사를 심평원에 몇 건 청구하셨습니까?*

6. 금일기준 전날 파노라마방사선검사(재촬영포함)를 몇 건 하셨습니까?*

7. 금일기준 전날 파노라마방사선검사를 심평원에 몇 건 청구하셨습니까?*

8. 금일기준 전날 CBCT검사(재촬영포함)를 몇 건 하셨습니까?*

9. 금일기준 전날 CBCT검사를 심평원에 몇 건 청구하셨습니까?*

10. 금일기준 전날 두부계측방사선검사(재촬영포함)를 몇 건 하셨습니까?*

11. 금일기준 전날 두부계측방사선검사를 심평원에 몇 건 청구하셨습니까?*

표본의 추출은 온라인상에서 자발적 참여를 통해 모집하는 임의추출방법(random sampling)을 사용하였고, 총 1,278 개의 표본을 얻을 수 있었다. 본 연구에서 모집단의 규정 및 조사 표본은 표 2 와 같으며, 설문지 1,278 부 중 유효표본인 1,278 부(100%)를 사용하여 분석하였다 (표 2).

Table 2. Definition of population and survey samples

목록	대상 및 방법
조사 대상	치과 종사자
조사 기간	2019. 09. 17. ~ 2019. 10. 16. (30일간)
표본추출방법	임의추출방법
실증 분석	설문지: 총 1,278부 중 1,278부 (100%)

1.2. 통계 분석

수집된 자료로 응답자의 일반적 특성은 빈도와 백분율을 이용하여 나타내었고, 각 촬영별 실제 촬영 건수와 보험 청구 건수 간의 통계적 검정은 독립표본 t 검정(independent t-test)을 이용하여 분석하였다. 통계분석의 유의성은 $p<0.05$로 설정하였다.

2. 파노라마방사선장비와 CBCT 방사선량 측정

2.1. 영상장비의 종류

2.1.1. 파노라마방사선영상장비

CS 8100® (Carestream, New York, United States), Eco-X® (HDX, Seoul, South Korea), GreenX® (Vatech, Seoul, South Korea), Orthopro® (Sirona, Pennsylvania, United States), Rainbow® (Dentium, Seoul, South Korea), T1® (Osstem, Seoul, South Korea)를 사용하였다.

2.1.2. CBCT 장비 및 조사야 설정

임상 치과 검사에서 자주 사용되는 7대의 CBCT 장비를 선정하여 연구에 사용하였다. CS 8100® (Carestream, New York, United States), Eco-X® (HDX, Seoul, South Korea), GreenX® (Vatech, Seoul, South Korea), Orthopro® (Sirona, Pennsylvania, United States), Rainbow® (Dentium, Seoul, South Korea), T1® (Osstem, Seoul, South Korea), Viso G7® (Planmeca, Helsinki, Finland)를 사용하였다. 이 중에서 Vatech사의 GreenX® 장비의 경우에는 응용모드와 그린모드의 두 가지 조사 방식을 각각 따로 측정하여 분석하였다.

각 CBCT 시스템은 다양한 크기의 조사야로 구성되어 있기에, 각 시스템 별로 큰 조사야와 작은 조사야를 하나씩 선택하였다. 큰 조사야는 실제 임상 환경에서 성인 남성의 전체 상태를 평가하기 위해 주로 사용되는 조사야의 크기로 설정하였으며, 작은 조사야는 상악 제1대구치 부위에 임플란트 식립을 계획하기 위해 사용되는 조사야 크기로 설정하였다. 가장 자주 사용되는 2개의 조사야는 장축을 기준으로 분류(큰 조사야: 11~16 cm, 작은 조사야: 8~9 cm)하여 선택하였다. CS 8100®, Eco-X®, Rainbow® 및 Viso G7®의 4가지 CBCT 시스템은 단일 조사야만 설정 가능 하였기에, 총 7대의 CBCT 시

스템을 이용하여 전체적으로 12가지의 상황에서 실험이 수행되었다. 방사선 조사 변수는 성인 남성에 대한 시스템 제조업체의 권장 사항을 따랐으며, 각 조건에 대해 조사야 크기, 복셀크기, 조사 시간, 관전압 및 관전류를 측정하였다.

2.2. 방사선량 측정 방법

각 파노라마방사선장비 및 CBCT의 선량은 면적선량계(Dose Area Product meter, DAP meter) (KermaX plus®, IBA, Germany)를 사용하여 측정하였다 (그림 2). 면적선량계는 X선관두에 이온챔버를 설치하여 조사되는 X선속의 선량을 측정한다 [31]. 흡수되는 총면적과 단위 면적에 흡수되는 방사선량을 곱한 값을 사용하며 ($Gy.cm^2$), 이온챔버는 일반적으로 최대 조사 X선속 크기보다 큰 면적의 사각 플레이트 형태이고, 온도 및 압력의 영향을 방지하기 위하여 밀폐되어 있다 [33].

면적선량계는 실험 전 3개월 이내에 독일 제조 본사에서 교정하였으며, 보고서에 제시된 교정 값을 교정 인자로 사용하였다. 오차를 최소화하기 위해 평균값을 사용하였으며, 평균값은 동일한 조건에서 3회 측정하여 기록하였다.

Figure 2. Application of Dose Area Product (DAP) meter

3. 파노라마방사선장비와 CBCT 영상품질평가

3.1. 파노라마방사선검사의 영상품질평가

사용된 장비는 방사선량 측정에 사용된 장비와 동일하다.

파노라마방사선영상의 영상품질 평가를 위해서는 IEC 61223-3-4, IEC 61223-2-7, DIN 6868-151, 그리고 DIN 6868-5 규정을 따르는 QUART dent 2.1 팬텀 (QUART GmbH, Zorneding, Germany)을 사용하여 공간해상도와 대조도해상도를 측정하였다 (그림 3). 팬텀은 구성품의 거치대를 이용하여 거치하였고 3축 수평계를 이용하여 미세조정을 하여 위치시켰다.

Figure 3. QUART dent 2.1 phantom for panoramic radiography

3.2. CBCT 의 영상품질 평가

CBCT 영상품질 평가는 DIN 6868-161 CBCT Image Quality Test Phantom 인 Dental Volume Tomography (DVT) 팬텀 (QUARTER GmbH, Zorneding, Germany)을 사용하였다. DVT 팬텀을 평평한 상단이 있는 테이블에 장착하고 3축 수평 시스템을 사용하여 위치를 지정하였다 (그림 4). 획득한 영상은 Quart DVTtec 소프트웨어 (QUARTER GmbH, Zorneding, Germany)를 사용하여 8개의 영상 품질 평가 항목들, Polymethyl-methacrylate (PMMA) voxel grey value 평균, PMMA 잡음, 균질성, 대조도, 대조도 대 잡음비 (contrast-to-noise ratio), 변조전달함수(Modulation Transfer Function, MTF) 10%, MTF 50% 및 나이퀴스트 주파수(Nyquist Frequency, NF)를 측정하고 분석하였다.

각각의 정의를 살펴보면 다음과 같다.

1) Voxel gray value 평균: 서로 구별되는 물질 팬텀에서 각 물질의 평균 화소값(Avg)과 표준편차(SD)를 측정한다.

2) PMMA 잡음: 팬텀 영상에서 관심영역(region of interest, ROI)을 설정하고 해당 관심영역 내 흑화도의 표준편차값을 측정한다. 방사선영상시스템의 검출기에 기록되는 원치 않는 신호이다. 이는 CBCT영상의 품질을 저하시키는 요인이며, 잡음이 클수록 영상품질의 저하를 초래할 수 있다.

3) 균질성(Homogeneity): 획득영상의 중심부를 기준으로 주변부에 일정한 간격을 두고 관심영역을 정하여 각 영역의 평균화소값을 측정한다. 디텍터에 전달되는 X선 신호의 일관성을 검증하는 데 사용되는 척도이며, 투명한 PMMA 재질과 같은 내부가 균질한 물체를 사용하여 획득한 영상에서의 회색조 범위의 동일한 정도를 표시하고 차이를 나타낸다[22].

4) 대조도: 획득 영상에서 인접한 화소 사이의 회색소 수치의 차이를 나타낸다.

5) 대조도 대 잡음비(contrast-to-noise radio: CNR): 대조도 대비 잡음의 비율을 나타내며, CNR은 신호 강도의 차이로 간주할 수 있다. 백그라운드 혹은 관찰대상의 주변부에 비해서 관찰대상의 신호를 얼마나 잘 식별할 수 있는지를 확인할 수 있는 척도로 생각할 수 있다.

6) 변조전달함수(Modulation Transfer Function, MTF): X선 광자가 디텍터 시스템에 전달되어 신호가 얼마나 효과적인지를 보여주기 위해 사용된다. 영상 시스템이 이미지의 작은 세부 사항을 얼마나 잘 표시할 수 있는지를 나타내는 지표로 활용된다.

7) 나이퀴스트 주파수: 데이터가 수집되는 샘플링 속도를 나타낸다. 나이퀴스트 주파수 이산 신호 처리 시스템의 샘플링 속도의 절반을 사용하여 이미지를 생성하려면, 엑스레이 광자, 피크와 골을 포착하기 위해 충분한 샘플이 필요하다. 원래 X선속의 각 봉우리와 골 세트는 개별 단위이며, 나이퀴스트 주파수는 샘플링 속도가 작은 양을 결정하기 때문에 CBCT영상 재구성에서 중요한 요소가 된다.

Figure 4. Dental Volume Tomography (DVT)

3.3. 방사선량과 영상품질간의 관계

측정된 방사선량 값과 8개의 영상 품질 평가요소들 간의 연관성을 분석하기 위해 일반선형모형(generalized linear model; GLM)을 이용한 회귀분석을 수행하였다. 설명변수, 방사선량값, 종속변수의 표본이 12개이며, 표본 별 측정값이 1회 측정치로 사용된 변수들이 존재하기에 일반선형모형의 일변량분산분석(univariate of analysis of variance)을 사용하여 영상 품질평가 방사선량 간의 연관성을 분석하였다.

4. 단일 기종 CBCT 의 조사야, 복셀 크기, 방사선량이 영상품질에 미치는 영향평가

4.1. CBCT 의 조사야, 복셀 크기, 방사선량 결정

CBCT 장비간 서로 다른 영상품질인자들의 효과를 배제하기 위하여, 단일 CBCT 장비에서 조사야, 복셀 크기, 방사선량과 획득 영상품질과의 관계에 대해 평가 하였다. CBCT 는 GreenX® (Vatech, Seoul, South Korea) 를 사용하였으며 응용모드와 그린모드의 두 가지 조사 방식을 각각 따로 측정하여 분석하였다. 조사야는 $10\times7cm^2$ 및 $10\times8.5cm^2$ 두 가지 모드로 촬영하였다. 그린모드와 응용모드 선량은 면적선량계를 이용하여 측정하였다. 각 모드에서는 동일한 형태에서 각 3회 반복 촬영하여 데이터를 획득했다.

4.2. 방사선량 측정

방사선량은 면적선량계 (KermaX plus®, IBA, Germany)를 사용하여 측정하였다.

4.3. 영상품질 평가

CBCT 의 영상품질 평가는 Dental Volume Tomography (DVT) 팬텀 (QUARTER GmbH, Zorneding, Germany)을 사용하였다. DVT 팬텀은 평평한 상단이 있는 테이블에 장착하고 3축 수평 시스템을 사용하여 위치를 지정하였다. 획득한 이미지는 DVTtec 소프트웨어(QUARTER GmbH, Zorneding, Germany)를 사용하여 6개의 영상품질 평가 요소들(Polymethyl-methacrylate (PMMA) voxel grey value 평균, PMMA 잡음, 균질성, 대조도, 대조도 대 잡음비, 나이퀴스트 주파수를 측정하고 분석하였다.

4.4. 통계 분석

본 연구의 기술통계량은 10×7 green app, 10×7 green stand, 10×7 high app, 10×7 high stand, 10×8.5 green app, 10×8.5 green stand, 10×8.5 high app, 10×8.5 high stand의 8개의 유형에 대하여 각각 3회 반복측정한 값을 바탕으로 전체개의 조사대상표본이 기술통계분석에 활용되었다. 영상품질 평가요소와 복셀 크기, 조사야, 방사선량 간의 연관성을 분석하기 위해서 일반선형모형으로 회귀분석을 수행하였다.

III. 연구결과

1. 영상치의학 방사선검사의 촬영 건수

표본으로 선정한 1,278명 응답자의 일반적 특성 결과는 표 3에 나타내었으며, 실제 촬영 건수와 보험 청구 건수 간의 통계적 분석 결과는 표 4에 나타내었다. 개원 여부는 개원의 1,072명(83.88%), 비개원의 206명(16.12%)으로 나타났다. 근무 지역은 서울 325명(25.43%), 인천과 경기 394명(30.84%), 강원도 26명(2.03%), 충청북도 38명(2.97%), 대전과 충청남도 95명(7.43%), 대구와 경상북도 97명(7.59%), 부산과 울산 그리고 경상남도 180명(14.08%), 전라북도 42명(3.29%), 광주와 전라남도 66명(5.16%), 제주와 해외 15명(1.17%)으로 나타났다 (표 3, 그림 5). 근무의료기관 종별은 치과병원 1,212명(94.84%), 치과병원 28명(2.19%), 병원 내 치과 7명(0.55%), 종합병원 치과 21명(1.64%), 의료원 치과 10명(0.78%)으로 나타났다 (표 3, 그림 6).

Table 3. General characteristics regarding to survey responses

구분		빈도(N)	백분율(%)
개원 여부	개원의	1,072	83.88
	비개원의	206	16.12
근무 지역	서울	325	25.43
	인천, 경기	394	30.83
	강원도	26	2.03
	충청북도, 대전, 충청남도	38	2.97
	대구, 경상북도	95	7.43
	부산, 울산, 경상남도	97	7.59
	전라북도	180	14.08
	광주, 전라남도	42	3.29
	제주, 해외	66	5.16
		15	1.17
근무의료기관 종별	치과의원	1,212	94.84
	치과병원	28	2.19
	병원 내 치과l	7	0.55
	종합병원 치과	21	1.64
	의료원 치과	10	0.78

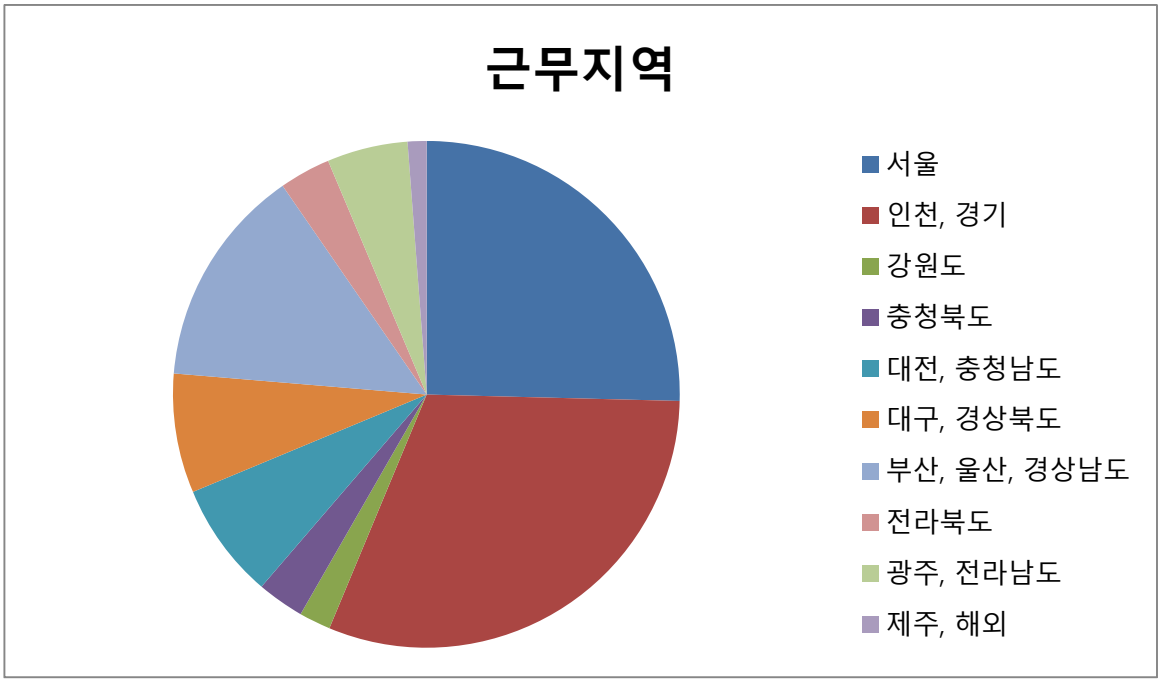

Figure 5. Work area of survey respondents

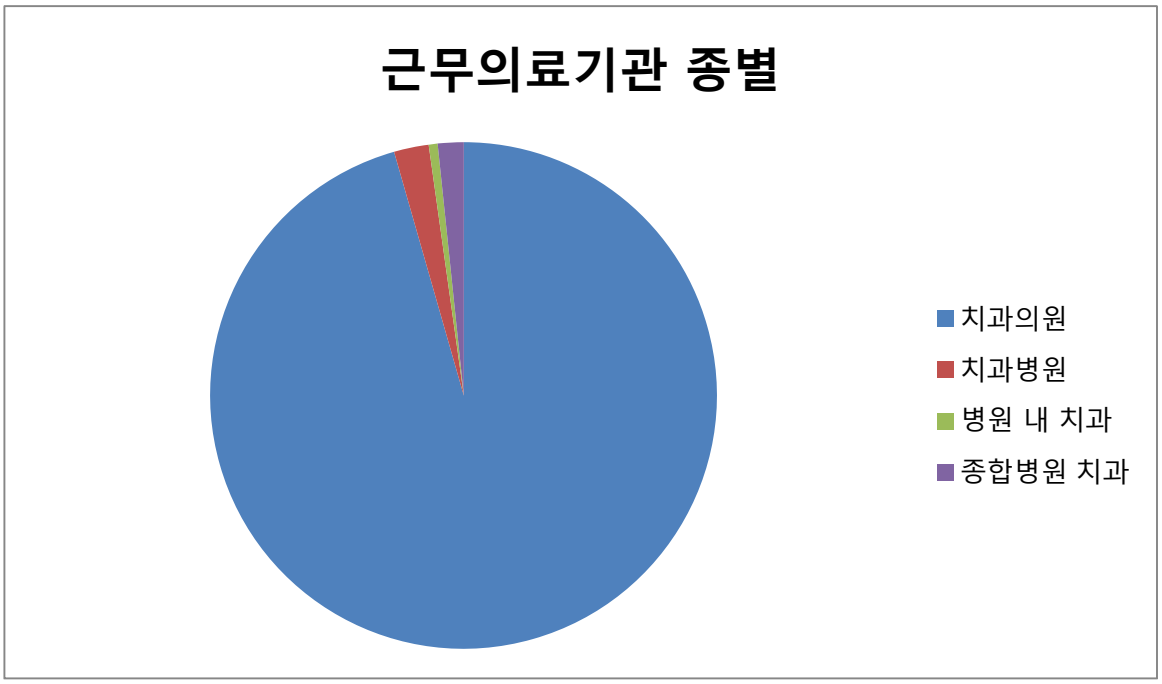

Figure 6. Type of dental institution

치근단방사선검사의 촬영 건수의 평균은 6.44, 표준편차 6.21이었고, 심평원에 보고된 건수의 평균은 5.74, 표준편차는 5.48로 나타났다. 검정 결과는 t 값이 3.018이고 p값이 0.05보다 작았으므로, 치근단방사선검사의 촬영 건수와 심평원에 보고된 건수의 차이가 통계적으로 유의하였다 (표 4).

파노라마방사선검사의 촬영 건수의 평균은 5.05, 표준편차는 4.06으로, 심평원 건수의 평균은 4.34, 표준편차는 3.75로 나타났다. 검정 결과는 t 값이 4.534이고 p값이 0.05보다 작게 나타났으므로, 파노라마방사선검사의 촬영 건수와 심평원에 보고된 건수의 차이가 통계적으로 유의하였다.

CBCT검사의 촬영 건수의 평균은 0.76, 표준편차는 1.40으로, 심평원에 보고된 건수의 평균은 0.31, 표준편차는 0.85로 나타났다. 검정 결과는 t 값이 9.760이고 p값이 0.05보다 작게 나타났으므로, CBCT검사의 촬영 건수와 심평원에 보고된 건수의 차이가 통계적으로 유의하였다.

두부계측방사선검사의 촬영 건수의 평균은 0.13, 표준편차는 0.69로, 심평원에 보고된 건수의 평균은 0.05, 표준편차는 0.35로 나타났다. 검정 결과는 t값이 3.785이고 p값이 0.001보다 작게 나타났으므로, 두부계측방사선검사의 촬영 건수와 심평원에 보고된 건수의 차이가 통계적으로 유의하였다.

Table 4. Comparison between the number of insurance claims for each radiography and the number of radiographic exposures. (N=1278)

Variables		Mean±S.D	t(p)
Periapical radiography	Radiographic exposures	6.44±6.21	3.018* (0.003)
	Insurance claims	5.74±5.48	
Panorama radiography	Radiographic exposures	5.05±4.06	4.534* (0.000)
	Insurance claims	4.34±3.75	
Cone beam computed tomography	Radiographic exposures	0.76±1.40	9.760* (0.000)
	Insurance claims	0.31±0.85	
Cephalometric radiography	Radiographic exposures	0.13±0.69	3.785* (0.000)
	Insurance claims	0.05±0.35	

* $p<0.05$

2. 방사선영상장비의 방사선량

2.1. 파노라마방사선영상의 방사선량

방사선량 측정 결과 E 장비의 방사선량 값이 49.7 cGycm^{2}로 가장 높은 값을 보인 반면 D 장비의 방사선량 값이 11.3 cGycm^{2}으로 가장 낮은 값을 보였다 (표 5). 이를 순서대로 나열해 보면 E>F>A>B>C>D 순이었다.

Table 5. Measured Dose area product values in each panoramic system

Model	Dose area product (cGycm^2)	Exposure time (sec)	kVp	mA
A	24.6	16	80	10
B	21.4	14.1	69	12
C	13	13.5	74	10
D	11.3	12	75	10
E	49.7	14	90	10
F	33.3	19	79	10

2.2. CBCT 의 방사선량

방사선량 측정 결과 E 장비의 방사선량 값이 222.51 cGycm^{2}로 가장 높은 값을 보인 반면, C 장비의 그린모드(C+)로 촬영된 8×8 크기의 방사선량 값이 57.4 cGycm^{2}으로 가장 낮은 값을 보였다 (표 6).

Table 6. Measured parameters and DVT values in each CBCT system

	FOV (cm × cm)	Voxel size (mm)	Dose area product (cGycm^2)	Exposure time (sec)	kVp	mA
A	15×9	0.2	215.00	14	95	6
	8×9	0.2	130.82	14	95	6
B	11×10	0.16	73.86	30	85	10
	8×8	0.16	10.63	15	85	10
C	16×9	0.2	159.50	9		7
	8×8	0.12	94.00	2.9	94	13
C+	16×9	0.2	115.00	9	87	6.1
	8×8	0.12	57.40	2.9	87	9.6
D	8×8	0.075	135.58	15	90	5
E	16×9	0.2	222.51	12	90	10
	10×16	0.2	146.91	20	94	8
G	16×9	0.1	498.00	24.8	100	10

3. 방사선량과 영상품질의 관계

3.1. 파노라마방사선영상 의 방사선량과 영상품질과의 관계

공간해상도 (line pair value) 값은 B-F 장비가 동일하게 3.1 lp/mm 로 가장 높은 값을 보였고, A 장비가 2.5 lp/mm 로 낮은 값을 보였다 (표7). 대조도해상도 평가에서는 B, C, E 장비에서는 1.0mm 직경의 원까지 구분할 수 있었으나, A, D, F 장비는 1.5mm 직경의 원까지만 구분이 가능하였다. 파노라마방사선영상 에서 방사선 노출이 높을수록 더 좋은 영상품질 값이 나타날 것으로 예상하였으나 공간해상도와 대조도해상도 모두에서 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 또한 A 사의 경우 방사선 조사량은 중위 값이었으나 공간해상도와 대조도해상도 모두 하위의 영상품질 값을 보였다.

Table 7. Measured Dose area product values and contrast in each panoramic radiography

Model	Dose area product ($cGycm^2$)	Spatial resolution (line pair value)	Contrast resolution (Ø, mm)
A	24.6	2.5	1.5
B	21.4	3.1	1.0
C	13	3.1	1.0
D	11.3	3.1	1.5
E	49.7	3.1	1.0
F	33.3	3.1	1.5

3.2. CBCT 영상의 방사선량과 영상품질과의 관계

CBCT 제원 및 선량과 영상품질 평가 관련 측정값들을 표 8에 나타내었다. 통계 분석결과는 표 9 와 같다. 영상의 측정 변수로, 방사선량 단일 변수가 사용되었다. 표 9에 나타난 것처럼, 12개의 표본에서 얻은 검사의 방사선량은 154.93±123.99으로 나타났다.

영상품질 평가는 DVT 팬텀의 PMMA 평균, PMMA 잡음, 동질성, 대조도, 대조도 대 잡음비, 변조전달함수 10%, 변조전달함수 50%, 나이퀴스트 주파수 등 8개의 측정변수가 사용되었다. PMMA 평균은 930.92±239.00, PMMA 잡음은 52.29±24.32, 동질성 16.50±6.62, 대조도 822.95±198.25, 대조도 대 잡음비 12.77±4.06, 변조전달함수 10% 2.09±0.35, 변조전달함수 50% 1.00±0.17, 나이퀴스트 주파수 2.79±0.73으로 나타났다.

Table 8. Image quality in CBCT examinations

Labeling	Exposure Dose ($cGycm^2$)	PMMA average	PMMA noise	Homogeneity	Contrast	CNR	MTF 10%	MTF 50%	NF
A	135.58	909.3	85.2	31	715	10	2.1	1	3.3
B	222.51	1450.5	72.1	18	951.5	13	2	1.2	2.5
C	159.5	967.6	28.1	15	958.4	20.9	2.3	1.3	2.5
	94	839.7	45.2	11	1029.8	17.2	2.7	1	4.1
C+	115	1169.7	36.6	18	1006.2	16	2.2	1.1	2.5
	57.4	779.5	68.5	6	997.4	15.8	2.6	1.2	4.1
D	73.86	614.6	12.1	12	480.5	8.9	2.1	0.9	2.3
	10.63	939.5	28.4	15	456.4	8.5	2.3	0.9	3.1
E	146.91	1139.3	56.3	17	830.7	13.3	1.6	0.7	1.6
F	215	711.7	46.6	26	885.7	11.1	1.8	1	2.5
	130.82	660.2	55.6	16	882.1	11.3	1.8	1	2.5
G	498	989.5	92.8	13	681.8	7.3	1.6	0.8	2.5

FOV: field of view; PMMA: polymethyl-methacrylate; CNR: contrast-to-noise ratio; MTF: modulation transfer function; NF: Nyquist frequency

Table 9. Descriptive statistics of variables measured in CBCT examination (N=12)

Variables	Minimum	Maximum	Sum	Mean	S.D
FOV	64.00	256.00	1421.00	118.41	57.97
Voxel size	0.12	0.30	2.25	0.18	0.04
Dose area product	10.63	498.00	1859.21	154.93	123.99
Shooting time	2.90	24.80	143.60	11.96	5.92
Exposure time	2.10	4.40	9.70	3.23	1.15
kVp	85.00	100.00	1096.00	91.33	4.76
mA	5.00	13.00	100.70	8.39	2.39
PMMA average	614.60	1450.50	11171.10	930.92	239.00
PMMA noise	12.10	92.80	627.50	52.29	24.32
Homogeneity	6.00	31.00	198.00	16.50	6.62
Contrast	456.40	1029.80	9875.50	822.95	198.25
CNR	7.30	20.90	153.30	12.77	4.06
MTF 10%	1.60	2.70	25.10	2.09	0.35
MTF 50%	0.70	1.30	12.10	1.00	0.17
Nyquist frequency	1.60	4.10	33.50	2.79	0.73

3.3. CBCT에서 영상품질평가 값과 방사선량간의 관계

영상품질과 방사선량 간의 연관성을 분석하기 위해서 Generalized Linear Model (GLM)에 의한 회귀분석을 수행하였다. 본 연구에서 일반선형모형(GLM)을 활용한 것은 종속변수인 영상품질 값과 설명변수인 방사선량 값 측정의 표본이 12개이며, 장비 별 측정값이 1회 측정치로 사용된 변수들도 있기 때문에 일반선형모형의 일변량분산분석을 사용하여 영상품질과 방사선량 간의 연관성을 분석하였다.

일반선형모형 분석결과는 표 10 및 그림 7과 같다. 영상품질 평가 중에서 PMMA 잡음, MTF 10% 등 2개의 변수는 상관관계가 유의하였다.

첫째, PMMA 잡음에 대해서 방사선량 (b=0.12, t=2.43)이 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 양(+)의 상관관계를 보였다. PMMA 잡음의 회귀모형은 통계적으로 유의(F=5.911, p=0.035)하였고, 설명력이 37.1% (R^2=0.371, Adj. R^2=0.309)로 높은 설명력을 보이고 있다.

둘째, 변조전달함수(MTF) 10%에 대해서 방사선량 (b=-0.01, t=-2.52)이 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 음(-)의 상관 관계를 보였다. 변조전달함수(MTF) 10%의 회귀모형은 통계적으로 유의(F=6.368, p=0.030)하였고, 설명력이 38.9% (R^2=0.389, Adj. R^2=0.328)로 높은 설명력을 보이고 있다.

Table 10. Effect of Dose area product on DVT values

Variables	PMMA average	PMMA noise	Homo-geneity	Contrast	CNR	MTF 10%	MTF 50%	Nyquist frequency
Dose area product	0.48 (0.82)	0.12 (2.43)**	0.06 (0.37)	0.05 (0.10)	-0.09 (-0.95)	-0.01 (-2.52)**	-0.03 (-0.71)	-0.01 (-1.11)
Intercept	855.18 (7.43)*	33.77 (3.51)*	15.51 (4.73)*	814.73 (8.26)*	14.24 (7.36)**	2.36 (17.13)**	1.05 (12.57)**	3.09 (8.96)*
F	0.687	5.911	0.143	0.011	0.915	6.368	0.516	1.232
P	0.426	0.035*	0.713	0.918	0.361	0.030**	0.489	0.293
R^2	0.064	0.371	0.014	0.001	0.084	0.389	0.049	0.110
Adj. R^2	-0.029	0.309	-0.085	-0.099	-0.008	0.328	-0.046	0.021
N	12	12	12	12	12	12	12	12

* $p<0.05$

Generalized linear model is a flexible generalization of ordinary linear regression that for the response variable to have an error distribution other than the normal distribution. The GLM generalizes linear regression by allowing the linear model to be related to the response variable via a link function and by allowing the magnitude of the variance of each measurement to be a function of its predicted value.

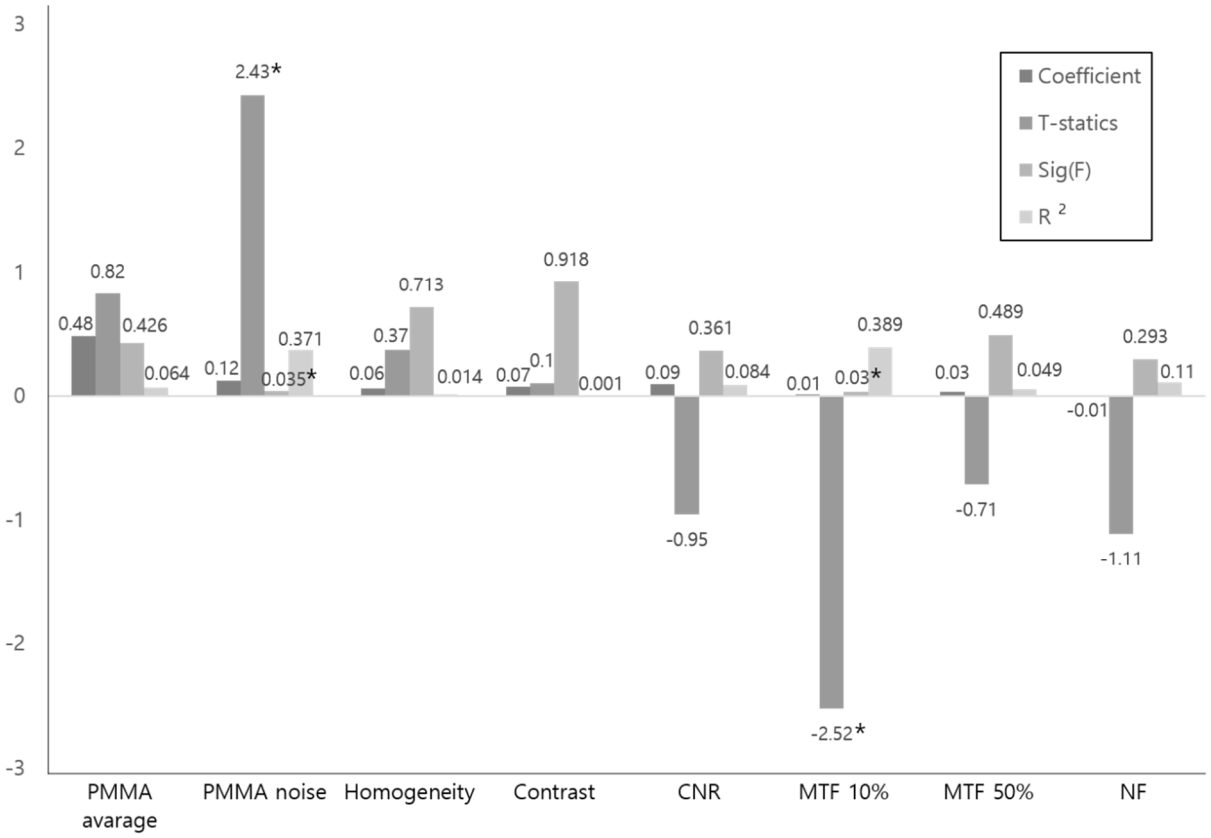

Figure 7. Graphs of correlation analysis between dose area product and image quality (* $p<0.05$)

3.4. 단일 CBCT의 방사선량, 복셀 크기, 조사야와 영상품질과의 관계

단일 CBCT 시스템을 사용하여 10×7 green app, 10×7 green stand, 10×7 high app, 10×7 high stand, 10×8.5 green app, 10×8.5 green stand, 10×8.5 high app, 10×8.5 high stand의 8개의 조건으로 각각 3회 측정하여, 전체 24개의 표본이 통계분석에 사용되었다. 결과는 표 11과 같다. 측정변수들은 복셀 크기, 조사야, 방사선량, PMMA 평균, PMMA 잡음, 동질성, 대조도, 대조도 대 잡음비, 나이퀴스트 주파수의 9개 변수들이 사용되었다. 측정변수들의 기술통계량을 평균과 표준편차를 비교해 보면 복셀 크기 0.25±0.05, 조사야 77.50±7.66, 방사선량 463.02±222.19, PMMA 평균 -778.55±37.06, PMMA 잡음 58.27±13.76, 동질성 8.01±1.85, 대조도 1151.01±158.65, 대조도 대 잡음비 16.23±9.54, 나이퀴스트 주파수 1.92±0.40으로 각각 나타났다.

Table 11. Descriptive statistics of variables measured in the single CBCT system (N=24)

Variables	Minimum	Maximum	Sum	Mean	S.D
Voxel size	0.20	0.30	6.00	0.25	0.05
FOV	70	85	1860.00	77.50	7.66
Dose area product	225.80	742.80	11112.60	463.02	222.19
PMMA average	-838.50	-689.29	-18685.41	-778.55	37.06
PMMA noise	40.86	79.83	1398.65	58.27	13.76
Homogeneity	5.78	13.83	192.29	8.01	1.85
Contrast	947.02	1509.00	27624.42	1151.01	158.65
CNR	5.65	35.54	389.72	16.23	9.54
Nyquist frequency	1.60	2.50	46.20	1.92	0.40

3.5. 단일 기종 CBCT 시스템에서의 방사선량, 복셀 크기, 조사야와 방사선량간의 일반선형모형 분석

CBCT의 영상품질 요소를 나타내는 7개의 변수와 복셀 크기, 조사야, 방사선량 간의 연관성을 분석하기 위해서 일반선형모델로 회귀분석을 수행하였다. 일반선형모델을 활용한 것은 종속변수인 영상품질요소와 설명변수인 복셀 크기, 조사야, 방사선량 변수들의 표본이 24개이며, 각 유형별 측정값이 3회 측정치로 사용된 변수들이 활용되었기 때문에 일반선형모델의 일변량분산분석으로 영상품질값과 복셀 크기, 조사야, 방사선량 간의 연관성을 분석하였다.

일반선형모형 분석결과는 표12 및 그림 8과 같다. 영상품질값 중에서 대조도를 제외하고, PMMA 평균, PMMA 잡음, 동질성, 대조도 대 잡음비, 나이퀴스트 주파수의 7개의 변수들은 설명변수들과 유의한 상관관계가 있었다.

분석된 결과 중 통계적으로 유의한 값을 나타낸 것들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, PMMA 평균에 대해서 방사선량 (b=0.08, t=2.58)이 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 음(+)의 상관관계를 보였다. PMMA 평균의 회귀모형은 통계적으로 유의 (F=3.09, p=0.050)하였고, 31.7% (R^2=0.317, Adj. R^2=0.214)의 설명력을 보였다.

둘째, PMMA 잡음에 대해서 방사선량 (b=-0.04, t=-4.91)이 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 음(-)의 상관관계를 보였다. PMMA 평균의 회귀모형은 통계적으로 유의 (F=8.50, p=0.001)하였고, 56.0% (R^2=0.560, Adj. R^2=0.495)의 높은 설명력을 보였다.

셋째, 동질성에 대해서 조사야 (b=0.12, t=3.08)가 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 음(+)의 상관관계를 보였다. 동질성의 회귀모형은 통계적으로 유의 (F=6.56, p=0.003)하였고, 49.6% (R^2=0.496, Adj. R^2=0.421)의 설명력을 보였다.

넷째, 대조도 대 잡음비에 대해서 방사선량 (b=0.03, t=5.97)이 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 양(+)의 상관관계를 보였다. 대조도 대 잡음비 회귀모형은 통계적으로 유의 (F=13.02, p=0.000)하였고, 66.1% (R^2=0.661, Adj. R^2=0.611)의 높은 설명력을 보였다.

마지막으로, 나이퀴스트 주파수에 대해서 조사야 (b=0.01, t=2.48)가 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 양(+)의 상관관계를 보인 반면에, 복셀 크기 (b=-6.16, t=-6.55), 방사선량

(b=-0.01, t=-2.10)는 유의수준 $p<0.05$에서 유의한 음(-)의 상관관계를 보였다. 나이퀴스트 주파수 회귀모형은 통계적으로 유의 (F=17.28, p=0.000)하였고, 72.2% (R^2=0.722, Adj. R^2=0.680)로 높은 설명력을 보였다.

전체적으로 영상품질값과 설명변수인 복셀크기, 조사야, 방사선량 간의 관계를 분석한 결과 PMMA 평균, PMMA 잡음, 동질성, 대조도 대 잡음비, 나이퀴스트 주파수의 7개의 변수들에 대해서 유의한 영향을 미쳤다.

Table 12. Effect of voxel size, FOV, and Dose area product on DVT values

Variables	PMMA average	PMMA noise	Homogeneity	Contrast	CNR	Nyquist frequency
Voxel Size	-68.35 (-0.51)	-15.55 (-0.38)	-0.11 (-1.99)	-946.86 (-1.45)	-32.66 (-1.34)	-6.16 (-6.55)*
FOV	-1.82 (-2.00)	-0.03 (-0.11)	0.12 (3.08)*	2.89 (0.65)	0.01 (0.09)	0.01 (2.48)*
Dose area product	0.08 (2.58)*	-0.04 (-4.91)*	0.01 (1.84)	0.06 (0.42)	0.03 (5.97)*	-0.01 (-2.10)*
Intercept	-657.44 (-8.50)*	85.92 (3.73)*	0.35 (0.10)	1133.39 (3.02)*	7.40 (0.52)	2.44 (4.51)**
F	3.09	8.50	6.56	0.95	13.02	17.28
P	0.050	0.001**	0.003**	0.432	0.000**	0.000**
R^2	0.317	0.560	0.496	0.125	0.661	0.722
Adj.R^2	0.214	0.495	0.421	-0.006	0.611	0.680
N	24	24	24	24	24	24

* $p<0.05$

Generalized linear model is a flexible generalization of ordinary linear regression that for the response variable to have an error distribution other than the normal distribution. The GLM generalizes linear regression by allowing the linear model to be related to the response variable via a link function and by allowing the magnitude of the variance of each measurement to be a function of its predicted value.

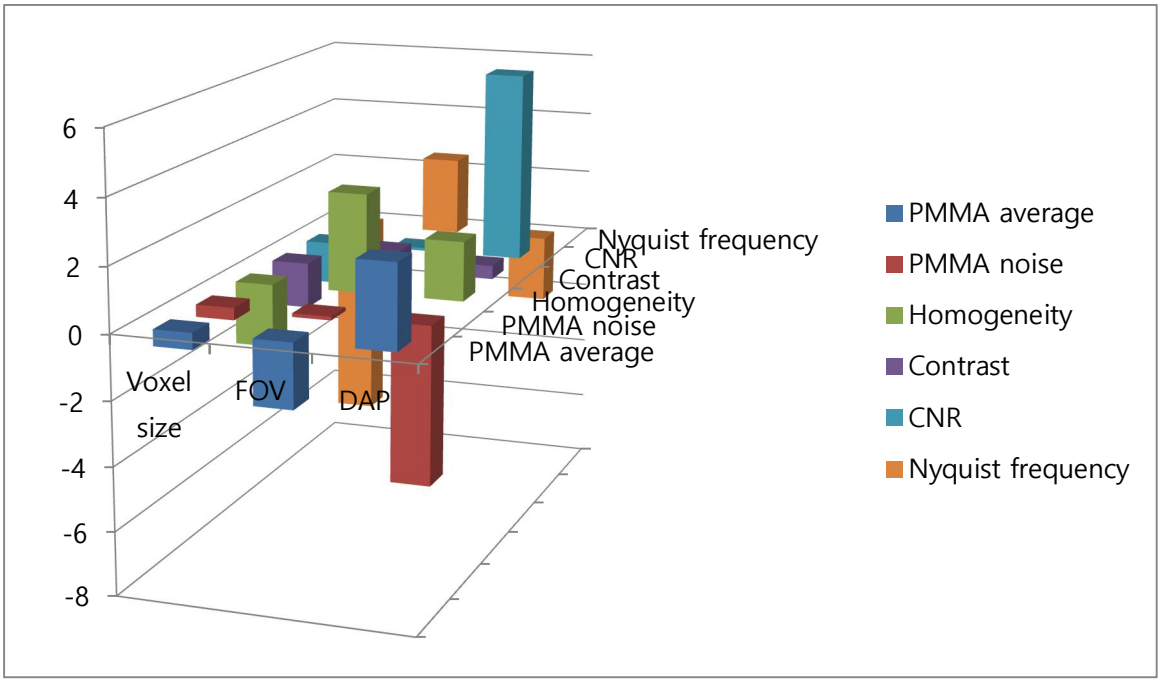

Figure 8. Graphs of correlation coefficient between Dose area product, FOV, voxel size, and image quality (* $p<0.05$)

IV. 고 찰

영상치의학 분야에서 기술의 발전이 주는 혜택은 다양하지만 이를 관리하고 또 안전하게 사용하는 것은 발전된 영상치의학의 기술을 환자에게 적용시키기 위한 첫 번째 단계이다. 본 연구는 국가의 다양한 정책의 기준이 되는 실제 피폭량 평가와 이를 이용한 다양한 영상장비에서의 피폭량 감소를 위한 노력이 어떻게 구현되고 있는지 확인하고자 하였다.

영상치의학분야의 촬영 건수에 대한 설문조사를 수행한 결과 모든 검사에서 촬영 건수와 건강보험심사평가원에 청구 건수 사이에 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 각 촬영 별로 살펴 보면 치근단방사선검사의 경우 촬영 건수의 약 89% 정도를 청구하였고, 파노라마방사선검사의 경우 촬영 건수의 약 86% 에 해당하는 청구 빈도를 보였다. CBCT의 경우는 실제 촬영 건수가 건강보험심사평가원 청구검수의 약 2.3배 많은 것으로 나타났으며, 두부계측방사선검사의 경우에는 건강보험심사평가원 청구 건수에 비해 실제 촬영 건수가 약 2.4배 많은 것으로 나타났다. 이는 현 의료 체계에서 임플란트 및 치아교정 등 비보험 진료에 필요한 검사에서 실제 촬영 건수와 건강보험심사평가원 청구 건수와의 차이가 클 것으로 생각된다. 또한 CBCT의 경우는 재촬영의 이유도 차이의 원인이 될 수 있을 것이므로 앞으로 재촬영 건수에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 이는 다양한 정부 정책의 기준이 되는 환자나 전국민 방사선피폭량이 실제 선량보다 크게 낮을 수 있음을 의미하며, 다양한 정책의 수립에 있어 좀 더 정확한 실제 피폭량의 평가가 필요할 것이다 [34, 35].

본 연구에서는 치과에서 사용되는 각 영상장비의 방사선량에 대한 측정을 수행하였다. 파노라마방사선검사의 경우 CBCT에 비해 낮은 방사선량을 보였으나 장비 별 방사선량의 정도가 상이하였고, CBCT의 경우 장비 별 방사선량이 관심영역의 설정과 비례하지 않고 다양하게 나타났다. 같은 장비의 저선량 구현 모드에서는 더 낮은 방사선량이 측정되었다.

마지막으로, 본 연구에서는 실제 치과 현장에서 사용되는 영상치의학 방사선장비를 사용할 때의 선량에 따른 영상품질과의 상관관계를 분석하였다. ICRP에서 권고하는 방사선방호의 기초가 되는 ALARA 개념은 방사선 피폭을 합리적으로 달성 가능한 가장 낮은 수준으로 유지해야 한다는 것이다 [36, 37]. 이는 산업현장에서의 방사선 방호뿐만

아니라 의료영상시스템을 사용하는 의료현장에서도 적용되어야 하는 필수적인 요소이다. 또한, ALARA 원칙에 따른 환자선량의 감소는 환자의 방사선량을 규제하는 문제일 뿐만 아니라 획득한 영상의 영상 품질을 평가하고 관리하는 것에도 직접적인 영향이 있다. 일반적으로 어느 정도 수준에서는 방사선 노출 량이 많으면 획득한 영상의 품질이 좋을 것이라고 생각할 수 있다 [38]. 하지만, 최근에는 의료방사선영상시스템의 기술적인 개발로 인하여 방사선 조사방식과 후 처리방식의 개선이 이루어져, 선량을 줄이면서도 영상의 질적인 저하를 초래하지 않을 수 있기에, 방사선 피폭과 영상품질은 직접적으로 비례하지 않는다. 본 연구를 통한 실험 결과는 방사선량이 증가함에도 PMMA 잡음이 증가하는 결과가 나타났다. 이는 조사되는 방사선량이 증가함에 따라 잡음이 감소하는 기존의 통념과는 반대의 결과였다 [39, 40]. 또한, 변조전달함수 10%에 대한 방사선량 ($b = -0.01$, $t = -2.52$)은 통계적으로 유의한 ($p < 0.05$) 음의 관계를 나타내었다. 대조도는 방사선량과 통계적인 유의성을 나타내지는 않았지만, 상호간 양의 관계를 보여 일반적인 양상을 따랐다. 이외에 본 연구에서 사용된 모든 CBCT 시스템들은 다양한 방사선량과 영상품질 값들을 나타내었으나, 일관되거나 유의한 관계는 없었으며, 이는 임상적으로 사용되는 장비에 따라서 CBCT 의 정도 관리를 할 때 방사선량과 영상 품질을 개별적으로 평가해야 한다는 것을 의미한다. 끝으로 본 연구에서는 CBCT 영상품질에 영향을 미치는 요소가 다른 조건들을 고정하고 방사선량, 조사야, 복셀 크기별로 어떤 관계가 있는지 조사하였다. 각 평가항목별로 세가지 요소가 미치는 영향이 다양하게 존재하였으며 이 또한 장비의 영상을 평가할 때 각 항목별로 개별 평가하는 새로운 평가 시스템이 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에 대한 몇 가지 제한사항과 추가적인 고려 사항은 다음과 같다.

첫째, 방사선량과 CBCT 영상품질과의 관계 분석에서 장비 마다 제공하는 각 항목의 값이 다르고 이를 임의로 조절할 수 없는 경우가 대부분이라 독립변수의 미세한 변화나 통제변수, 조절변수의 제한이 어려워 정확하게 통제된 실험이 불가능하였다. 따라서, 근본적으로 제조사 차원의 장비 조절을 통하지 않고는 정확한 비교분석이 어렵다. 반면에, 실제 임상 환경에서도 다양한 변수들을 통제하기보다는 제조사가 제공하는 촬영 모드로만 촬영이 가능하기 때문에, 본 실험의 접근은 실제 임상 환경을 잘 반영한 것으로 생각할 수 있다.

둘째, 또한 단일 CBCT 장비 검사 시 소프트웨어에서 변조전달함수(MTF) 값이

도출되지 않아 단일 CBCT 장비의 영상품질 결과분석에서 MTF 값을이 제외하였다. 따라서, 해상도의 평가를 위하여는 다른 여러 팬텀을 이용한 연구가 이루어지기를 바란다.

셋째, 이 연구에 사용된 장비들은 의료 현장에서 사용하고 있는 장비였으며 사용기간과 관리 수준이 다양하였다. 따라서 장비 자체의 특성이나 질 평가에 사용하기에는 한계가 있다. 따라서 결과에서 장비의 이름은 기호화 하였다.

이러한 결과를 토대로, 각 변수의 관계의 차이를 가중치 값으로 환산하고 이를 객관적 수치로 변환하여 영상품질을 나타낼 수 있는 기준 값이나 룩업 테이블 (lookup table)로 사용할 수 있는지에 대한 추가 연구가 가능할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 논문의 결론은 다음과 같다.

1. 방사선 촬영 건수와 청구 건수는 유의한 차이를 보이므로 방사선 피폭량의 측정에 대한 새로운 데이터베이스가 필요하다.

2. 임상적으로 영상치의학검사에 사용되고 있는 방사선영상장비들은 다양한 선량과 영상품질을 보였고 CBCT 의 경우도 선량의 증가가 영상품질의 증가를 보여주지 않았다.

진단 가능한 수준에서 가능한 적은 양의 방사선노출을 위하여는 영상치의학분야의 영상품질기준이 필요하고 이 기준에 맞추어 선량측정과 영상품질 평가를 각각 진행하여야 함을 제언한다.

VI. 참고문헌

[1] 식품의약품안전처 보도자료. CT 환자방사선피폭량 기록관리사업 전국실시. 2014.01.22.

[2] Liang Z, Lu H, Li X. Noise treatment of low-dose CT projections and images. 7,187,794 B2. US Patent Number. (filed in 2002 and approved in 2007)

[3] Wang J, Li T, Lu H, Liang Z. Penalized weighted least-squares approach to sinogram noise reduction and image reconstruction for low-dose X-ray CT. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2006;25:1272–1283.

[4] Fessler J. Statistical image reconstruction methods for transmission tomography. Handbook of Medical Imaging. 2000;2:1–70.

[5] Thibault JB, Sauer K, Bouman C, Hsieh J. A three-dimensional statistical approach to improved image quality for multislice helical CT. Med Phys. 2007;34:4526–4544.

[6] 임청환, 김승철, 정홍량, 홍동희, 유인규, 정천수. 치과 방사선 검사 시 노출 위험성에 따른 피폭선량 방어연구. 한국방사선학회 논문지, 2011;5(5):237-244.

[7] Linet MS, Slovis TL, M ller DL, Kleinerman R, Lee C, Rajaraman P, Berrington de Gonzalez A Cancer risks associated with external radiation from diagnostic imaging procedures CA Cancer J Clin 2012; 62(2):75-100.

[8] KW Kim. A study on anxiety of dental hygienists about being exposed to radiation. Journal of Korean Society of Dental Hygiene 2012;14(1):1-9.

[9] Preston RJ Update on linear non-threshold doseresponse model and implications for diagnostic radiology procedures Health Phys 2008; 95(5):541-6.

[10] IAEA: International basic safety standards for protection against ionizing radiation and the safety of radiation source. IAEA safety series No.115, Vienna, pp.279-280, 1996.

[11] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation Vol. I Source. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2009.

[12] 의료방사선(CT)에서의 정당화 및 최적화에 대한 가이드라인 개발연구 Development of guidelines for justification process and optimization of clinical protocol in radiation exposure from CT scan 주관연구기관 : 가톨릭대학교, 1475006214 식품의약품안전청 연구결과보고서 2011

[13] 의료방사선 이용에 따른 국민방사선량 평가 연구 Assessment of Radiation Exposure of Korean Population by Medical Radiation 주관연구기관 : 대한방사선방어학회, 11-1352159-000900-01 정책연구용역사업 최종결과보고서 2017.

[14] Lee SS, Choi SC. Radiographic examination for successful dental implant. Imaging Sci Dent 2005;35:63-68.

[15] Alamri HM, Sadrameli M, Alshalhoob MA, Sadrameli M, Alshehri MA. Applications of CBCT in dental practice: a review of the literature. Gen Dent 2012;60:390–400.

[16] Larheim TA, Abrahamsson AK, Kristensen ML, Arvidsson LZ. Temporomandibular joint diagnostics using CBCT. Dentomaxillofac Radiol 2015;44:20140235.

[17] Van Vlijmen OJC, Maal T, Bergé SJ, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. A comparison between 2D and 3D cephalometry on CBCT scans of human skulls. Int J Clin Oral Maxillofac Surg 2010;39:156-160.

[18] 의료방사선 이용에 따른 국민방사선량 평가 연구 Assessment of Radiation Exposure of Korean Population by Medical Radiation 주관연구기관 : 경희대학교 , 11-1790387-000030-01 정책연구용역사업 최종결과보고서 2021.

[19] National Council on Radiation Protection report no. 184. NCRP. 2019.

[20] Doses to patients from radiographic and fluoroscopic X-ray imaging procedures in the UK-2010 review. HPA-CRCE-034;2012.

[21] Kim KP, Gil JW, Lee BY, Lee HK. Assessment of radiation exposure of Korean population by diagnostic medical radiation. KCDA 2016;14:1614-1632.

[22] Uffmann M, Schaefer-Prokop C. Digital radiography: the balance between image quality and required radiation dose. Eur J Radiol 2009;72:202-208.

[23] BATEMAN, Darin D. Selecting a Cone Beam System for Your Dental Office. 59th Medical Wing, 2020.

[24] PHE-CRCE-59: Dose to patients from dental radiographic X-ray imaging procedures in the UK 2019

[25] Thomas PJ. CT radiation dose and image quality. Radiol Clin North Am 2005;43: 953-962.

[26] Lee W Goldman. Principles of CT: radiation dose and image quality. J Nucl Med Technol 2007;35:213-225.

[27] Takagi S, Yaegashi T, Ishikawa M. Dose reduction and image quality improvement of chest radiography by using bone-suppression technique and low tube voltage: a phantom study. Eur Radiol. 2020;30:571-580.

[28] Russell MT, Fink JR, Rebeles F, Kanal K, Ramos M, Anzaia Y. Balancing Radiation Dose and Image Quality: Clinical Applications of Neck Volume CT. Am J Neuroradiol. 2008;29:727–731.

[29] CT accreditation program requirement. American Colleges of Radiology (ACR).

[30]식품의약품안전평가원, 지역별 국가환자선량 권고량 개발에 관한 연구, 2011.

[31] 식품의약품안전처, 중재적 방사선시술에서의 환자선량 평가에 관한 연구. 서울대학교병원; 2012.

[32] 건강보험공단, 건강보험 주요 통계, 2021

[33] Nickoloff EL, Lu ZF, Dutta AK, So JC. Radiation Dose Descriptors: BERT, COD, DAP, and Other Strange Creatures. Radiographics 2008;28:1439-1450.

[34] Allisy-Roberts P, Williams JR. Farr's Physics for Medical Imaging. 2020. ISBN: 9780702028441.

[35] 질병관리본부, 진단참고수준 가이드라인 : 치과촬영(구내, 파노라마, CBCT), 2019

[36] Managing patient dose in digital radiology. ICRP Publication 93 Elsevier; 2004.

[37] 1990 Recommendation of the international commission on radiological protection—users' edition. ICRP Publication 60 Pergamon Press, Oxford; 1992.

[38] Lee SS. Radiation safety management in dentistry. Imaging Sci Dent 2007;37:117-126.

[39] Goldman LW. Principles of CT: radiation dose and image quality. Journal of nuclear medicine technology 2007;35:213-225.

[40] Goo HW. CT radiation dose optimization and estimation: an update for radiologists. Korean journal of radiology 2012;13:1-11.

English abstract

A study on dose and image quality of dental radiographic examination

Changho Song

Department of Oral and Maxillofacial Radiology,

Graduate School

School of Dentistry, Seoul National University

(Directed by Prof. Sam-Sun Lee)

1. Purpose

This study aims to evaluate the number of radiographic exposures in dentistry and the relationship between clinically used radiation dose and image quality.

2. Methods

For the number of radiographic exposures, the difference between the number of radiographic exposures in clinical and those of insurance claims to Health Insurance Review and Assessment Service was compared by surveying. Six panoramic radiographs and twelve cone-beam computed tomographic scanners (CBCT) were

used to evaluate the radiation dose and image quality. The radiation dose was measured using a dose area product (DAP) meter. Spatial resolution and contrast resolution were measured using QUART dent phantom to evaluate the image quality of the panorama radiography. For the CBCT, by using a dental volume tomography (DVT) phantom, the average value of polymethyl-methacrylate (PMMA) voxel gray, noise, homogeneity, contrast, contrast-to-noise ratio, modulation transfer function (MTF) 10%, MTF 50%, and Nyquist frequency was measured. Moreover, to exclude factors such as post-processing method, equipment aging, and maintenance status between CBCTs, the correlation between field-of-view (FOV), radiation dose, voxel size, and image quality within a single model was also evaluated.

3. Results

The number of radiographic exposure in dentistry was significantly higher than those of insurance claims. In the case of CBCT, the average number of actual scans was 0.76, the standard deviation was 1.40, the average number of insurance claims was 0.31, and the standard deviation was 0.85. In the case of panoramic radiography, the average number of actual scans was 5.05, the standard deviation was 4.06, the average number of claims was 4.34, and the standard deviation was 3.75. Moreover, in the evaluation between radiation dose and image quality, there was no significant difference in spatial resolution and contrast resolution in panorama radiography acquired through six panorama radiographic machines. In the case of CBCT, the relationship between radiation dose and image quality was significantly correlated with PMMA noise and MTF 10%. As the radiation dose increased, the PMMA noise showed a positive correlation, and MTF 10% showed a negative correlation. In the evaluation of a single CBCT, the PMMA noise showed a negative correlation with the increase of the radiation dose, and showed a higher effect on the image quality than the voxel size and the FOV.

4. Conclusions

It was confirmed that there is a significant difference between the number of actual radiographic exposures in dentistry and those of insurance claims in the clinical field. Therefore, a more accurate method of determining the exposure dose is needed. In addition, there was no significant correlation between the image quality and radiation dose during radiographic examinations in multiple panorama radiographic machines and CBCTs. Therefore, an individual systemic evaluation system is needed for the actual number of radiographic exposure, radiation dose, and image quality.

Key words: Dose, Cone-Beam Computed Tomography, Panoramic, Radiography.

Student number: 2015-30637